

УДК 617.3

В.В. Цапенко, аспірант гр. ПБ-72ф, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОФІЗИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ СТОПИ. РЕОВАЗОГРАФІЯ

Анотація. Описано діагностичні можливості реовазографії, як біофізичного методу дослідження сегментів нижніх кінцівок.

Ключові слова: реовазографія, реографія, електропровідність, плоскостопість, стопа, мікроциркуляторне русло.

ВСТУП

Велике практичне значення для медицини має прикладна біофізика, яка розглядає значне коло питань, пов'язаних з фізичними явищами, що є в основі будови та організації органів і систем організму. В сучасній біомедичній інженерії досить молодим та перспективним напрямком є клінічний аналіз рухової діяльності - дослідження різноманітних патологій ходи та основної стійки, з використанням методів біофізики та біомеханіки.[1] Не викликає сумнівів значимість оцінки функціонального стану опорно-рухової системи у пацієнтів ортопедичного та неврологічного профілю. Однак між тим, в даний час, методи інструментального аналізу ходи ще не отримали широкого розповсюдження та впровадження в широку клінічну практику вітчизняних лікувальних установ та реабілітаційних центрів. Найчастіше оцінка біомеханічних функцій проводиться візуально і має велику частку суб'єктивізму. Інформація отримана за допомогою спеціалізованої апаратури може бути використана на всіх етапах лікувального процесу - від діагностики захворювання з виявленням провідної патологічної ланки до оцінки правильності проведеного лікування, дослідження очікуваних та віддалених результатів реабілітації, виконання експертної оцінки, тощо. [2]

У процесі життя у всіх людей тою чи іншою мірою змінюються функціональні параметри стопи. Насамперед вони стосуються її ресорної та опорної функцій. На даний момент, поздовжня та поперечна розпластаність стоп, що може мати як самостійний характер, так і поєднуватися з іншими статичними деформаціями, є одним із найбільш поширених ортопедичних захворювань. За даними ВООЗ - 75 % населення планети мають ті чи інші патологічні зміни стоп, найбільш частою з яких є плоскостопість. Ця деформація стоп є причиною багатьох важких захворювань опорно-рухового апарату, які часто призводять до інвалідності. Плоско-вальгусна деформація стоп — широко поширене ортопедичне захворювання, при якому поздовжнє склепіння патологічно низьке або взагалі відсутнє. Частота даної патології за даними різних авторів складає близько 70%. [1]

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Аналіз літературних джерел показав, що більшість дослідників вважають плоскостопість захворюванням, обумовленим взаємодією генетичних, середовищних факторів, гіперперевантаженням окремих частин опорно-рухового апарату, що призводить до порушення функцій стопи і постійної напруги литкових м'язів, що заважає нормальному венозному відтоку з нижніх

кінцівок, роблячи істотний вплив на стан мікроциркуляторного русла. [1-3] Своєчасне виявлення мінімальної активності процесу дозволить істотно скоротити кількість ускладнень і поліпшити прогноз захворювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з основних неінвазивних методів дослідження гемодинаміки в сегментах нижніх кінцівок є реовазографія, яка широко використовується при лікуванні пацієнтів із захворюваннями і травмами опорно-рухової системи. Необмежена частота використання методу у кожного хворого дозволяє отримувати порівнянні результати при проведенні досліджень в динаміці лікування, після його закінчення і обґрунтовано їх інтерпретувати. Реовазографія (РВГ) - метод діагностики стану судин кінцівок та оцінки руху крові в них на основі реєстрації змін їх електричного опору (Рис. 1).



Рисунок 1. Приклад реовазограми [3]

Це сучасний неінвазивний метод дослідження динаміки пульсового кровонаповнення органів і тканин або окремих ділянок тіла. РВГ дозволяє автоматично розпізнавати різновиди магістрального і коллатерального кровотоку, визначати рівень артеріальної оклюзії, діагностувати порушення венозного відтоку, тощо. Цей метод є надзвичайно цінним при дослідженні захворювань периферичних артерій, що супроводжуються частковим звуженням або повної обтурацією судини. За результатами даного дослідження можна судити про порушення кровообігу, найчастіше обумовленому атеросклеротичними або запальними ураженнями судин.[3] Реовазографія знайшла широке застосування, як біофізичний метод дослідження діабетичної стопи. При виконанні РВГ реєструється електричний опір (імпеданс) живої тканини (ЖТ) змінному струмові високої частоти. ЖТ організму є провідниками електричного струму, при цьому різні тканини володіють різною електропровідністю, і відповідно - різним електричним опором. Електропровідність біологічних систем - це кількісна характеристика здатності живих об'єктів (тканин) проводити електричний струм, обернено пропорційна величині електричного опору системи.[4] Будь-яку живу тканину можна розглядати як неоднорідний провідник електричного струму, при цьому найвищою електропровідністю володіють біологічні рідини, зокрема, кров, а найнижчою - кістки і шкіра. Тому, якщо через певну ділянку тіла пропускати змінний електричний струм високої частоти (близько 500 кГц) і малої сили (не

більше 10 мА) і одночасно реєструвати електричний опір цієї ділянки – виявляється, такий опір буде постійно змінюватися в зв'язку з проходженням по тканинам пульсової хвилі.[3] Таким чином, крива зміни опору добре відображає кровонаповнення тканин при проходженні ними пульсової хвилі. На цьому заснована методика реографії. Електропровідність g біологічних тканин обумовлена присутністю в електролітах іонів, які є вільними зарядами і створюють в організмі струм провідності під дією електричного потенціалу, що випромінюють як зовнішні джерела, так і генерують живі клітини. Струм провідності в живих тканинах залежить від їх типу, виду та віку; а для тканин, клітини яких являють собою волокна – від їх орієнтації відносно напрямку вектору електричного поля. Значний вплив на електропровідність біологічних тканин має вміст води. Якщо до живої тканини прикласти постійну різницю потенціалів, то виявляється, що сила струму змінюється в часі, при сталій напрузі. Сила струму за певний час змінюється в сотні разів, а через деякий час встановлюється на сталому рівні. Це пов'язано з виникненням електрорушійної сили (ЕРС) поляризації під час проходження постійного струму через біологічну систему. Ця ЕРС є функцією часу і зменшує прикладену напругу. Закон Ома для біологічних систем запишеться у вигляді [5]:

$$I = \frac{U \cdot E(t)}{Z} \quad (1)$$

де $E(t)$ – ЕРС поляризації;

Z – загальний опір біологічної тканини.

Величина $E(t)$ пов'язана з діелектричними ємнісними властивостями живих об'єктів, зумовленими поляризацією. При вимірах електропровідності на змінному струмі з круговою частотою ω загальний опір системи, або імпеданс, залежить від наявності кордонів розділу в системі, на яких може відбуватися накопичення зарядів - поляризація. Значення електропровідності для окремих біологічних тканин (Табл. 1). [4, 5]

Таблиця 1. Значення електропровідності окремих біологічних тканин і рідин

| Тканина | $g, \text{См} \cdot \text{м}^{-1}$ |
|----------------------|------------------------------------|
| Спинномозкова рідина | 1.82 |
| Кров | 0.6 |
| М'язи | 0.5 |
| Шкіра | 10-4 |
| Кісткова тканина | 10-7 |

Властивості кордонів розділу (в біологічному об'єкті це, в основному, різні мембрани) можуть бути описані, якщо ввести поняття ємності c , опір якої X_c (реактивний опір, на відміну від R - активного опору) залежить від частоти, на якій проводиться вимірювання:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} \quad (2)$$

Загальний опір (Z) дорівнює:

- у випадку послідовного з'єднання R і c :

$$Z = X_c + R \quad (3)$$

- при паралельному з'єднанні R і c :

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + w^2 \cdot R^2 \cdot c^2}} \quad (4)$$

У свою чергу, електричний опір біотканин Z - залежить від електропровідності та геометричних параметрів середовища.

$$Z = \frac{l}{g \cdot S} \quad (5)$$

де l – довжина зразка,

S – площа поперечного перерізу досліджуваного зразка. [4, 5]

ВИСНОВКИ

Таким чином, описаний та опробований біофізичний метод дослідження стопи дозволяє оцінити стан артерій і вен досліджуваної ділянки, їх прохідність, виявити часткове звуження або повне закриття судин. Даний метод може бути одним із ефективних шляхів корекції плоскостопості, оскільки вплив має проводитися не тільки на опорно-рухову систему, а й на систему кровообігу для зміцнення стінок судин і поліпшення плинності крові.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко та Г. С. Тимчик, «Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей», // KPI Science News, №1, с.67-75, 2019. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812
- [2] Кашуба В.А. Биомеханика осанки: монография. - Киев: Олимпийская литература, 2003. – 280 с.
- [3] Мартусевич А.К. Реовазографическая оценка состояния микроциркуляции нижних конечностей у детей с плоскостопием [Електронний ресурс] / Мартусевич А.К., Мамонова С.Б. // Медицинский журнал ВРАЧ-АСПИРАНТ. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://vrach-aspirant.ru/articles/pediatrics/18053/>.
- [4] В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко та М. В. Чухраєв, «Дослідження електропровідності біологічних тканин», Вісник НТТУ «КПІ». Серія приладобудування, № 53(1), с.87-94, 2017.
- [5] В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко, «Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань» Новые направления развития приборостроения. Материалы 9-й Международной научно-технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 – 22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – с.135.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.